

2

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-190769

(43)Date of publication of application : 28.07.1995

(51)Int.Cl.

G01C 15/00

G01S 5/14

(21)Application number : 05-330982

(71)Applicant : SOKKIA CO LTD

(22)Date of filing : 27.12.1993

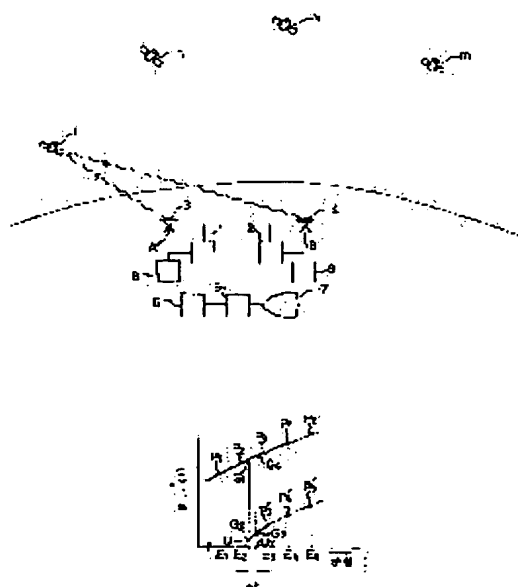
(72)Inventor : ISOMURA HIDETOSHI

(54) INTERFERENCE POSITION MEASUREMENT METHOD FOR GPS**(57)Abstract:**

PURPOSE: To record the integrated value of a carrier phase free from an effect due to receiving interruption by detecting the occurrence of the interruption and making a correction for a cycle slip.

CONSTITUTION: Receiving devices 1 and 2 on a known measurement point A and an unknown measurement point B respectively receive a radiowave from GPS satellites (j) to (m). RAM cards inserted in RAM card drive devices 8 and 9 record the integrated value of the carrier phases of the radiowaves measured with the devices 1 and 2, and analyzes the value at a process 6, thereby finding the three-dimensional coordinate value of the unknown point B. In this case, if Δt is the period of receiving interruption, a difference corresponding to the integer of a wave number occurs between a carrier phase value $G3$ for the time $U2$ of a measurement re-start and the integrated value $G4$ for a time $U2$ without any interruption. Also, the same difference remains between the integrated values of epoches $E2$ and $E3$.

Thus, the interruption is detected, and a correction is made for a cycle slip contained in the stored integrated value of the epoch $E3$ for addition to the integrated value of the epoch $E2$ before the occurrence of the interruption. As a result, a measurement value recorded at each epoch becomes free from a cycle slip.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 11.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 27.05.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-190769

(43) 公開日 平成7年(1995)7月28日

(51) Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 C 15/00	A			
G 0 1 S 5/14		4240-5 J		

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願平5-330982	(71) 出願人	000148623 株式会社ソキア 東京都渋谷区宮ヶ谷1丁目1番1号
(22) 出願日	平成5年(1993)12月27日	(72) 発明者	磯村 英利 神奈川県厚木市長谷字御町260-63 株式 会社ソキア厚木工場内
		(74) 代理人	弁理士 北村 欣一 (外 2 名)

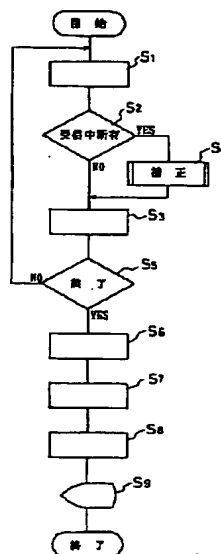
(54) 【発明の名称】 GPS干渉測位方法

(57) 【要約】

【目的】 受信中断があった場合にサイクルスリップを補正した搬送波位相の積算値を記録して未知点の三次元座標の座標値を求めることができるGPS干渉測位方法を提供する。

【構成】 4つのGPS衛星と2つの受信装置とを有するGPS測量システムを用い、前記GPS衛星の送信する電波を受信し(S1)、一定期間毎にその搬送波位相の積算値を記録し(S3)、前記記録した搬送波位相の積算値に基いて未知点の三次元座標の座標値を求める(S6, 7, 8)GPS干渉測位方法において、受信中断が発生した場合に、それを検出し(S2)、サイクルスリップを補正して(S4)その値を記録し(S3)、未知点の三次元座標の座標値を求めることを特徴とするGPS干渉測位方法。

【効果】 サイクルスリップの影響のない搬送波位相の積算値を記録することができる。特に、キネマティック測量においては測定終了点まで戻って再測定する必要がなくなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 衛星軌道上を周回する少なくとも4つのGPS衛星と、

前記各GPS衛星が送信する電波を受信する第1受信装置と第2受信装置とを有するGPS測量システムを用いるGPS干渉測位方法であって、

前記第1受信装置を既知点に配置し、前記第2受信装置を未知点に配置し、各受信装置が受信する電波の搬送波位相の積算値を測定し、

一定期間毎に前記搬送波位相の積算値を記録し、

前記記録した搬送波位相の積算値に基いて未知点の三次元座標の座標値を求めるGPS干渉測位方法において、

前記GPS衛星の送信する電波の受信中断が発生したとき、該受信中断を検出し、

前記受信中断解消後の搬送波位相の積算値に含まれるサイクルスリップを補正し、

該補正後の搬送波位相の積算値を記録し、

未知点の三次元座標の値を求めることを特徴とするGPS干渉測位方法。

【請求項2】 前記第2受信装置を未知点間で移動させて各未知点の三次元座標の座標値を求めることを特徴とする請求項1記載のGPS干渉測位方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はGPS測量システムを用いるGPS干渉測位方法にかかり、特にGPS衛星の電波の受信中断が発生してもサイクルスリップを補正した搬送波位相の積算値を記録し、未知点の三次元座標の座標値を求めることができるGPS干渉測位方法に関する。

【0002】

【従来の技術】GPS衛星は、地表から約20,200kmの内軌道上を、地球が宇宙空間に対して1回転する間に、軌道上を正確に2周する周期で周回している。そして、これを地表の一定点から宇宙空間を見た場合には、1日につき約4分づつ早くなりながら、空間的には同一軌道上を周回しているGPS衛星が観測できることとなる。

【0003】この様なGPS衛星にはセシウム及びルビジウムの原子時計が搭載されており、電波の搬送波等の基準周波数を発生させる際の周波数標準として用いられている。

【0004】一方、地上にもGPS関連施設が設けられ、GPSの機能を維持するための運営がされている。例えば地表には、GPS衛星の正確な位置を把握するために、地球上をまんべんなく覆うようにGPS衛星の軌道を追跡する軌道追跡局が配置されており、これらの軌道追跡局で観測された測定結果はGPS主解析局に送られて、そこで集中的な解析作業が行われ、衛星の近い将来の予想軌道が計算される。そして、その予想軌道に関

する情報は、GPS衛星に向けて送信され、更にGPS衛星から地上にいるGPS利用者に向けて種々の情報と共に送信される。

【0005】具体的にはGPS衛星は10.23MHzの周波数を基本として、この154倍の周波数である1575.42MHzの周波数のL1帯と、120倍の周波数である1227.60MHzの周波数のL2帯の2種類の周波数の電波を送信しており、L1帯にはPコード、C/Aコードとナビゲーションメッセージが位相変調により含まれている。

【0006】これらのうちには時刻情報も含まれており、衛星の備える時計と測定点に置かれた受信装置の時計とが同期していれば、送信時の時刻と受信時の実時刻との差から電波の伝搬遅延時間が分かり、この遅延時間と光速から測定点と各衛星との距離を算出することができる。一方、各衛星の3次元座標の値は軌道情報から得ることができるので、各衛星の位置する点を原点とし、各衛星と測定点との距離を半径とする球が3以上あれば、それらの球が交わる点として測定点の3次元座標を求めることができる。

【0007】このような測定方法は単独測位方法と呼ばれるが、この方法により求めた3次元座標の値は概算値にしかすぎず、数メートル以上の誤差を含むため、高精度測量には不向きである。

【0008】そこで従来より、複数のGPS衛星が送信する電波の搬送波を受信し、その搬送波位相の積算値を測定して解析し、精度よく未知点の三次元座標の座標値を求めることが行われている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、GPS衛星の発信する電波は種々の障害を受け、受信装置側では瞬間的又は継続的に受信が中断する場合がある。そして、障害がなくなるまでは、GPS衛星が送信する電波を受信することができないため、その間の搬送波の位相の積算値の変化量を知ることができない。このような受信障害による測定データの欠落を「サイクルスリップ」と呼び、GPS測量システムを利用した測量作業上の重大な問題とされている。

【0010】ところで、かかる受信障害は、GPS衛星本体又は受信装置自身の故障による場合は稀であり、受信の環境に起因することが多い。この様な障害の例を挙げてみると、

地上の物体、たとえば樹木の枝、電力・電話線等の妨害物により、それらの陰に衛星が入ることによる受信中断。

【0011】 アンテナへの着雪、着氷等。

【0012】 電気機器、たとえば電気溶接機、電車線路等からの極度に強いパルス性の雑音障害による受信機の位相同期ループが脱調するような場合。

【0013】 例えばレーダー電波のような、ある程度連続的な混信電波障害による位相同期ループの誤動作

ヘリコプター、飛行機等による反射電波の干渉によるフェーディングと陰による障害。

【0014】 鳥による妨害、アンテナ周辺を群をなして飛んだり、極端なときはアンテナにとまるような障害。

【0015】 等が挙げられる。これらのうち起因するサイクルスリップは低仰角のGPS衛星を観測する際に起こりやすいが、受信装置のアンテナの設置場所に注意を払えば防止することが可能である。に起因するサイクルスリップも、設置場所や気象条件を考慮して対策を立てればある程度は防げる問題である。

【0016】 しかしながら、それ以外の障害は一般には予測も防止も困難であり、受信中断が発生することを避けられない。そして一旦受信中断が発生し、測定値にサイクルスリップが含まれるようになると、再測定を行う場合は別として、その間に変化した搬送波の位相量を補正する必要が生じる。

【0017】 ところで、受信装置が搬送波位相を検出する際には、 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲の値は直接検出することができるが、 360° を超える量については直接検出することはできない。従って、搬送波位相を継続的に検出し、 360° に達する毎に、例えばカウンタを歩進させて、 360° を超える位相変化量を記憶しておく必要がある。ここで位相を波数で表すこととすると、 360° は「1」であり、カウンタの歩進量はそのまま位相を示す値となる。そして、ある時刻を基準とした搬送波位相の積算値 ωs は、その時に実際検出している位相の値 ωm ($0 \leq \omega m < 1$) と、その時のカウンタの値 n とから、

$$\omega s = \omega m + n$$

で表せることとなる。

【0018】 そして前記 ωm を検出してから時間 Δt 経過後の前記搬送波位相の積算値 $\omega s'$ は、そのときに実際に検出している位相の値 $\omega m'$ と、前記 Δt 間のカウンタの歩進量 Δn とから、

$$\omega s' = \omega m' + (n + \Delta n)$$

と表すことができる。

【0019】 しかしながら、前記 Δt の期間が搬送波位相の検出を行えない受信中断期間であった場合には、受信中断期間中のカウンタは歩進できないため、受信中断解消後の前記 $\omega m'$ の値は検出することができても前記 Δn の歩進量は得られない。

【0020】 この歩進量 Δn は整数値であるから、前記受信中断期間中に失われた搬送波位相の積算値も整数値となり、この点にGPS測量におけるサイクルスリップの大きな特徴がある。

【0021】 そして、従来技術では、一定期間毎に測定値を記録し、一連の測定作業終了後であって、未知点の三次元座標の座標値を求める「後処理」の際に受信中断により生じたサイクルスリップの補正を行っていた。

【0022】 しかしながら、受信装置を未知点間で順次移動させて搬送波位相の積算値を測定しながら該測定値を記録する、いわゆるキネマティック測量において、移動中に受信中断が発生したときには、測定終了後にはサイクルスリップの補正が行えない。そこでかかる場合には、受信中断が発生する前に測定を終了し、搬送波位相の積算値が記録されている未知点まで戻って再測定を行わなければならなかった。

【0023】 本発明はかかる従来技術の欠点に鑑みて創作されたものであり、その目的は受信中断が発生した場合にこれを検出し、サイクルスリップの補正を行ってから測定値を記録し、該記録された測定値に基いて未知点の三次元座標の座標値を求めることができるGPS干渉測位方法を提供することにある。

【0024】

【課題を解決するための手段】 上記課題を解決するために、請求項1記載の発明は、衛星軌道上を周回する少なくとも4つのGPS衛星と、前記各GPS衛星が送信する電波を受信する第1受信装置と第2受信装置とを有するGPS測量システムを用いるGPS干渉測位方法であって、前記第1受信装置を既知点に配置し、前記第2受信装置を未知点に配置し、各受信装置が受信する電波の搬送波位相の積算値を測定し、一定期間毎に前記搬送波位相の積算値を記録し、前記記録した搬送波位相の積算値に基いて未知点の三次元座標の座標値を求めるGPS干渉測位方法において、前記GPS衛星の送信する電波の受信中断が発生したとき、該受信中断を検出し、前記受信中断解消後の搬送波位相の積算値に含まれるサイクルスリップを補正し、該補正後の搬送波位相の積算値を記録し、未知点の三次元座標の値を求めることを特徴とし、請求項2記載の発明は、請求項1記載のGPS干渉測位方法において、前記第2受信装置を未知点間で移動させて各未知点の三次元座標の座標値を求めることを特徴とする。

【0025】

【作用】 衛星軌道上を周回する少なくとも4つのGPS衛星と、前記各GPS衛星が送信する電波を受信する第1受信装置と第2受信装置とを有するGPS測量システムを用いて、前記第1受信装置を既知点に配置し、前記第2受信装置を未知点に配置し、各受信装置が受信する電波の搬送波位相の積算値を測定し、一定期間毎に前記搬送波位相の積算値を記録すれば、この記録された前記搬送波位相の値に基づいて未知点と同じ数の連立方程式を立てることができるので、これを解析して未知点の三次元座標の座標値を求めることができる。

【0026】 そして、前記GPS衛星の送信する電波の受信中断が発生したときには、この受信中断を検出し、前記受信中断解消後の搬送波位相の積算値に含まれるサイクルスリップを補正して、補正後の積算値を記録するので、前記連立方程式を解析する際にサイクルスリップ

の補正を行わなくても済む。

【0027】また、前記第2受信装置を未知点間で測定を行いながら移動させて、各未知点の三次元座標の座標値を求める、いわゆるキネマティック測量を行う際には、搬送波位相の積算値の記録を行う前にサイクルスリップの補正を行うので、受信中断発生前に測定の終了した未知点まで戻って再測定を行わなくても済む。

【0028】

【実施例】図1は本発明に用いられるGPS測量システムの一例である。図1を参照して、衛星i、衛星j、衛星k、衛星mは衛星軌道上を周回するGPS衛星であり、それぞれが周波数標準を備え、L1帯とL2帯の電波を送信する。測定点Aは既知点であり、この点上に第1受信装置1のアンテナが配置され、前記4つのGPS衛星が送信する電波を受信している。また、測定点Bは未知点であり、この点上に第2受信装置2のアンテナ4が配置され、前記4つのGPS衛星が送信する電波を受信している。前記第1受信装置1と前記第2受信装置2には、それぞれラムカード駆動装置8、9が接続され、該ラムカード駆動装置8、9内には、図示しない記録装置であるラムカードが挿入されており、前記受信装置1、2はL1帯またはL2帯の電波の搬送波位相の積算値を測定し、前記ラムカード駆動装置8、9で該測定値を前記ラムカードに記録する。そして、測定終了後は、このラムカードに記録された内容をホストコンピューター5の備えるラムカード駆動装置6で読みとって前記搬送波位相の積算値を解析し、未知点Bの三次元座標の座標値を求め、表示装置7で表示している。

【0029】図2は上記のGPS測量システムを用いた本発明の一実施例の処理手順を示すフローチャートである。図2を参照して、S1は測定ステップであり、前記第1受信装置と前記第2受信装置とで搬送波位相の積算値を測定する。一般に、受信装置が測定したデータは一定間隔でRAM等の記憶装置に記憶させるが、全ての測定値を記憶しておくためには記憶装置の記憶容量が膨大なものとなり、受信装置が大型化し、また、装置の値段も高価になる。この場合、オンライン転送によりホスト

$$\phi_{i,A}(t_1) = \phi_A(t_1) - \phi_A(t_0) + N_{iA}$$

ここで、上式の N_{iA} は整数値であり、整数値バイアスと呼ばれる定数であるが、基準時刻から測定開始時刻までの搬送波位相の積算値が不明な場合には、この値を直接求めることはできない。

【0036】なお、上式によれば、搬送波位相の積算値は、検出した搬送波の位相である波数と、周波数標準の位相である波数の差に対応する値であるから、周波数標準が正しくL1帯またはL2帯の周波数になるように設定されていれば、前記搬送波位相の積算値は、GPS衛星と受信装置との相対移動により生じたドップラー効果に基づく周波数変動に対応する量である、と見ることができ

$$\phi_A(t_1) = \phi_i(t_1 - \tau)$$

コンピューターに測定値を記憶させることも可能であるが、キネマティック測量では困難である。

【0030】従って、一般的なキネマティック測量の場合は、図1に示したようなGPS測量システムを用い、受信装置の備えるRAM等の内部記憶装置に記憶された測定値を、一定時間毎に、例えばラムカード等、記録内容を保持したままそれをホストコンピューターに移すことができる記録媒体に記録し、内部記憶装置をリセットすることで、記憶容量を有効に活用することが必要となる。

【0031】このように測定値を記録媒体に記録する時刻のことを「エポック (epoch)」と呼び、隣り合うエポック間を「エポック間隔」と呼ぶこととする。例えば、15秒のエポック間隔で2時間に亘って測定した場合には、測定値を記録する回数、即ちエポックの数は480となる。

【0032】図3は、測定結果の一例であり、搬送波位相の積算値と各エポックとの対応を示したグラフである。E1からE5は、それぞれ搬送波位相の積算値P1からP5を記録するエポックを示す。

【0033】ここで、「搬送波位相の積算値(carrier beat phase)」とは、GPS衛星と受信装置が配置された地点の間の距離に相当する量を搬送波の波数で表したものである。この搬送波位相の積算値の内容を、前記GPS衛星iが送信する電波を前記受信装置1が受信し、ある時刻を基準とした搬送波位相の積算値を測定する場合を例にとって説明する。

【0034】前記基準となる時刻から前記エポックE1までの間の任意の時刻を t_1 とし、前記基準となる時刻から該時刻 t_1 までの間の搬送波位相の積算値を $\phi_{i,A}(t_1)$ とする。同様に時刻 t_1 までの間に前記受信装置1が検出する電波の搬送波の波数を積算した量を受信位相量 $\phi_A(t_1)$ とし、該受信装置1の周波数標準の波数を積算した量を周波数標準位相量 $\psi_A(t_1)$ とすると、前記搬送波位相の積算値 $\phi_{i,A}(t_1)$ を波数で表現した場合、次式で表すことができる。

$$\phi_{i,A}(t_1) = \phi_A(t_1) - \phi_A(t_0) + N_{iA} \quad \dots (2)$$

る。

【0037】ところで、衛星iから送信された電波が測定点Aに到達するまでに時間 τ を要したとすると、時刻 t_1 に測定点Aに到達した電波は時刻 $t_1 - \tau$ に於いて衛星iから送信されたものである。従って、基準時刻から時刻 $t_1 - \tau$ までの間に衛星iが射出した電波の搬送波の波数を送信位相量 $\phi_i(t_1 - \tau)$ とし、基準時刻から時刻 t_1 までの間において受信装置1が受信した電波の波数を受信位相量 $\phi_A(t_1)$ とすると、該送信位相量 $\phi_i(t_1 - \tau)$ と、該受信位相量 $\phi_A(t_1)$ とは等しくなる。

$$\phi_{i,A}(t_1) = \phi_i(t_1 - \tau) \quad \dots (3)$$

ここで、 τ は小さな値であるから、上式の右辺は次のように展開できる。

【0039】

$$\phi_i(t_1 - \tau) = \phi_i(t_1) - \# \phi_i(t_1) / \# t \cdot \tau + \dots \quad \dots (4)$$

衛星 i が送信する電波の搬送波位相を送信位相量 $\phi_i(t_1)$ の微小時間あたりの変化で表せ、

1)とすると、搬送波の周波数 f は前記送信位相量 $\phi_i(t_1)$

$$f = \# \phi_i(t_1) / \# t \quad \dots (5)$$

となるから、(4)、(5)式を用いて(3)式を次のよう

【0040】

に書き換えることができる。

$$\phi_A(t_1) = \phi_i(t_1) - f \cdot \tau \quad \dots (6)$$

(6)式を(2)式に代入すると次式が得られる。

【0041】

$$\phi_{i,A}(t_1) = \psi_A(t_1) - \phi_i(t_1) + f \cdot \tau + N_{iA} \quad \dots (7)$$

ここで、前記周波数標準位相量 $\psi_A(t_1)$ は受信装置 1 の備える時計(受信機時計)に対応した量であり、前記送信

位相量 $\phi_i(t_1)$ は衛星 i の備える時計(衛星時計)に対応した量であるから、両者の差を、

$$\psi_A(t_1) - \phi_i(t_1) = P_{iA} \quad \dots (8)$$

とおくと、該 P_{iA} は、衛星時計と受信機時計の時刻 t_1 における位相の差を意味する量となる。そしてこれら2つの時計に、経時変化や温度変化等によるドリフトがないと仮定した場合には、該 P_{iA} は、基準時刻における値をそのまま保つことになるので、時刻によらない一定値

となる。

【0042】また、電波が光速 c で衛星 i から測定点 A に到達するのに τ 秒間要したのであるから、衛星 i と測定点 A との間の距離 ρ_{iA} は、

$$\rho_{iA} = c \cdot \tau \quad \dots (9)$$

で表すことができ、上式は、

$$\tau = \rho_{iA} / c \quad \dots (10)$$

と書き換えることができる。そして、(10)式及び(8)式を(7)式に代入すると、前記搬送波位相の積算値 $\phi_{i,A}$

$A(t_1)$ を次式で表すことができる。

【0043】

$$\phi_{i,A}(t_1) = \rho_{iA} \cdot f / c + P_{iA} + N_{iA} \quad \dots (11)$$

なお、 P_{iA} は実数値バイアスと呼ばれる量であり、これも前記整数値バイアス N_{iA} 同様、直接測定することができない量である。

し、測定が続行される。

【0044】このような測定を行って時刻がエポック E_1 になったら、受信中断検出ステップ S_2 に処理を移行させる。受信障害による受信中断が発生していなかった場合には、該受信中断検出ステップ S_2 から記録ステップ S_3 に処理を移行させる。

【0046】ここで、図3に示すように、エポック E_1 からエポック E_2 までの間には受信中断がなく、搬送波位相の積算値も中断することなく測定できたとする。エポック E_1 とエポック E_2 の間の時刻を t_2 とすると、該時刻 t_2 における搬送波位相の積算値 $\phi_{i,A}(t_2)$ 中の、実数値バイアスの値と整数値バイアスの値とは、時刻 t_1 における値と同じであるから、時刻 t_2 における衛星 i と測定点 A との距離を ρ_{iA}' とすると、前記実数値バイアス P_{iA} と整数値バイアス N_{iA} を用いて、時刻 t_2 における前記搬送波位相の積算値 $\phi_{i,A}(t_2)$ を次式のように表すことができる。

【0047】

$$\phi_{i,A}(t_2) = \rho_{iA}' \cdot f / c + P_{iA} + N_{iA} \quad \dots (12)$$

そして、時刻がエポック E_2 に達したら、前記受信中断検出ステップ S_2 に処理を移行させる。前記受信中断検出ステップ S_2 は、受信中断がなかったため、処理を前記記録ステップ S_3 に移行させ、前記測定終了判断ステップ S_5 を経て前記測定ステップ S_1 に処理を戻す。

断が発生した場合には、受信回路が同期はずれを起こすため、それまで測定した搬送波位相の積算値が零になってしまうとすると、受信中断が解消した時刻 U_2 では測定を再開できるから、そのときの搬送波位相 G_3 の値 ($G_3 < 1$) は測定することができる。

【0048】該測定ステップ S_1 は、時刻がエポック E_3 に到るまで搬送波位相の積算値の測定を行う。

【0050】しかしながら、受信中断が発生しなかった場合の時刻 U_2 における搬送波位相の積算値を G_4 とすると、 G_4 と G_3 には波数の整数分だけの差を生じてしまう。従って、エポック E_2 において記録装置に記録された搬送波位相の積算値 $\phi_{i,A}(E_2)$ と、エポック E_3 における搬送波位相の積算値 $\phi_{i,A}(E_3)$ との間にも、それ

【0049】このエポック E_2 とエポック E_3 の間では、時刻 U_1 に受信中断が発生し、時刻 U_2 に受信中断が解消しているとする。時刻 U_1 と時刻 U_2 の間の Δt の間が受信の中断した期間であることとなる。ここで、受信中

と同じだけの差が残ってしまう。

【0051】そこで、前記受信中断ステップS2に処理を移行させて該受信中断を検出し、補正ステップS4に処理を移して、内部記憶装置に記憶された、エポックE3における搬送波位相の積算値 $\Phi_{i,A}(E3)$ に含まれるサイクルスリップの補正を行う。

【0052】この補正ステップS4の行う処理手順を図

$$\xi' = (\Phi_{i,A}(E2)/\#t + \Phi_{i,A}(E3)/\#t) / 2 \cdot T$$

……(21)

であり、該変移量 ξ' を算出して、処理を補正量算出ステップT2に移行させる。

【0053】なおこのように、2つのエポックにおける搬送波位相の積算値の変化率を平均せず、エポックE2におけるものだけ等、単独のエポックの搬送波位相の積算値の変化率にエポック間隔Tを掛け合わせて変移量を算出することも可能であるが、その単独のエポックが突発的な異常値であった場合等には搬送波位相の積算値の変化率が異常値となるので、前記変移量 ξ' の精度が確保できなくなる。

【0054】一方、より正確に変移量を求めるためには、例えば、受信中断期間を含む、連続した3つのエポックでの搬送波位相の積算値の変化率を平均してその値にエポック間隔Tを掛け合わせて変移量として用いることも可能である。

$$\Phi_{i,A}(E3) = \Phi_{i,A}(E2) + \xi$$

である。該 $\Phi_{i,A}(E3)$ を記憶装置に記憶させて処理を主処理中の記録ステップS3に戻す。

【0057】このように、前記補正ステップS4は、搬送波位相の積算値に含まれるサイクルスリップを補正するので、該記録ステップS3で記録する測定値は、サイクルスリップを含まない搬送波位相の積算値 $\Phi_{i,A}(E3)$ となる。

【0058】そして、前記測定終了判断ステップS5で測定終了か否かを判断し、測定が終了していない場合には、前記測定ステップS1に処理を戻し、測定を続行してエポックE4、E5等の各エポックで測定値を記録する。

【0059】エポックE3後の搬送波位相の積算は前記補正結果に基づいて測定されているので、各エポックで記録される測定値はサイクルスリップを含まない値である。従って、図3に示すように、受信中断の前後において、サイクルスリップを補正しない場合には、エポックE1からエポックE5で記録される測定値が、P1、P2、P3'、P4'、P5'のように、P2とP3'の間で不連続

$$\Phi_{i,A}(t) = \rho_{iA} \cdot f / c + P_{iA} + N_{iA}$$

なる、時刻tにおける搬送波位相の積算値 $\Phi_{i,A}(t)$ は、

$$\Phi_{i,A}(t) = \rho_{iA} \cdot f / c + N_{iA} + P_{iA} + f \cdot \{\delta t(i) - \delta t(A)\}$$

……(31)

と書き換えなければならない。

【0063】一方、同一時刻tにおいて前記未知点Bに

3に示す。図3を参照して、T1は変移量算出ステップであり、前記受信中断が発生する前のエポックE2における搬送波位相の積算値 $\Phi_{i,A}(E2)$ の変化率 $\Phi_{i,A}(E2)/\#t$ と、受信中断解消後のエポックE3における搬送波位相の積算値 $\Phi_{i,A}(E3)$ の変化率 $\Phi_{i,A}(E3)/\#t$ との平均値を求め、該平均値にエポック間隔Tを掛け合わせて変移量 ξ' を算出する。即ち、

【0055】ところで、前記(21)式で求めた変移量 ξ' は実数値となるが、受信中断により失われた実際の搬送波位相の積算値は整数値であり、前記実数値として得られる変移量 ξ' は真の変移量とは異なるといえる。そこで、該補正量算出ステップT2で、前記変移量 ξ' に最も近い整数値1(ξ')を求めてこの値を受信中断により失われた搬送波位相の積算値である補正量 ξ とし、これを記憶して搬送波位相補正ステップT3に処理を移行させる。

【0056】搬送波位相補正ステップT3では、受信中断がなかった場合にエポックE3で測定できる搬送波位相の積算値 $\Phi_{i,A}(E3)$ を、受信中断発生前のエポックE2で記録した搬送波位相の積算値 $\Phi_{i,A}(E2)$ に前記補正量 ξ を加算して算出する。即ち、

……(22)

となるが、前記補正が行われているので、各エポックで記録される測定値はP1、P2、P3、P4、P5のように連続した値となる。

【0060】そして、所望のデータ数の測定が得られ、測定が終了した場合には、処理は前記測定終了判断ステップS5からステップS6に移行され、測定値の解析が開始される。この解析は、通常、前記搬送波位相の積算値が記録された記録装置であるラムカードをホストコンピュータの備えるラムカード駆動装置6に移し、その内容を読み込んで行われる。

【0061】S6は一重位相差(single phase difference)算出ステップである。一重位相差とは、2つの測定点で測定した同一の衛星が送信する電波の搬送波位相の積算値の差である。

【0062】前記GPS衛星iの周波数標準と前記測定点Aに配置された前記第1受信装置1の周波数標準とが、正しい周波数fからずれており、それぞれ $\delta t(i)$ 、 $\delta t(A)$ のオフセット量を含むとすると、前記(11)式で表した、

……(30)

配置された前記第2受信装置2が測定する搬送波位相の積算値 $\Phi_{i,B}(t)$ は、上式と同様に、

$$\Phi_i(B;t) = \rho_{iB} \cdot f/c + N_{iB} + P_{iB} + f \cdot \{\delta t(i) - \delta t(B)\} \quad \dots(32)$$

と表せる。

一重位相差 $D(i;A,B;t)$ を、

【0064】測定点A及び測定点Bの、衛星iに対する

$$D(i;A,B;t) = \Phi_i(B;t) - \Phi_i(A;t) \quad \dots(33)$$

で定義すると、上式と(32)式とから、

$$\begin{aligned} D(i;A,B;t) &= (\rho_{iB} - \rho_{iA}) \cdot f/c + (N_{iB} - N_{iA}) + (P_{iB} - P_{iA}) \\ &\quad + f \cdot \{-\delta t(B) + \delta t(A)\} \quad \dots(34) \end{aligned}$$

と表せる。この様に一重位相差を求めれば、GPS衛星の周波数標準に関するオフセット量 $\delta t(i)$ を消去することができる。

【0065】なお、衛星iに対する一重位相差 $D(i;A,B;t)$ と同様に、測定点A及び測定点Bにおける衛星jに対する一重位相差 $D(j;A,B;t)$ は、

$$\begin{aligned} D(j;A,B;t) &= \Phi_j(B;t) - \Phi_j(A;t) \\ &= (\rho_{jB} - \rho_{jA}) \cdot f/c + (N_{jB} - N_{jA}) + (P_{jB} - P_{jA}) \\ &\quad + f \cdot \{-\delta t(B) + \delta t(A)\} \quad \dots(35) \end{aligned}$$

と表すことができる。

ce) 算出ステップである。二重位相差とは、一重位相差同士の差であり、以下のようにして求められる。

【0066】このように、一重位相差算出ステップS6は、2つの測定点A、Bと、4つのGPS衛星i、j、k、mに関する一重位相差を求め、処理をステップS7に移行させる。

【0068】測定点A及び測定点Bと衛星i及び衛星jに関し、時刻tにおける二重位相差を $DD(i,j;A,B;t)$ とすると、

【0067】S7は二重位相差 (double phase differen

$$\begin{aligned} DD(i,j;A,B;t) &= D(j;A,B;t) - D(i;A,B;t) \\ &= (\Phi_j(B) - \Phi_j(A)) - (\Phi_i(B) - \Phi_i(A)) \quad \dots(41) \end{aligned}$$

となる。上式と(34)、(35)式とから、

$$\begin{aligned} DD(i,j;A,B;t) &= D(j;A,B;t) - D(i;A,B;t) \\ &= (\rho_{jB} - \rho_{jA} - \rho_{iB} + \rho_{iA}) \cdot f/c \\ &\quad + (N_{jB} - N_{jA} - N_{iB} + N_{iA}) \\ &\quad + (P_{jB} - P_{jA} - P_{iB} + P_{iA}) \quad \dots(42) \end{aligned}$$

となり、かくて前記受信装置の周波数標準に関するオフセット量 $\delta t(A)$ 、 $\delta t(B)$ も消去された。

$-\rho_{iB} + \rho_{iA}$ は、実数値バイアス項と呼ばれる量であり、その各要素は、

【0069】ところで、上式の右辺第3項 $P_{jB} - P_{jA}$

$$P_{jB} = \psi_B(t) - \phi_j(t) \quad \dots(44)$$

$$P_{jA} = \psi_A(t) - \phi_j(t) \quad \dots(45)$$

$$P_{iB} = \psi_B(t) - \phi_i(t) \quad \dots(46)$$

$$P_{iA} = \psi_A(t) - \phi_i(t) \quad \dots(47)$$

であるから、 $P_{jB} - P_{jA} - P_{iB} + P_{iA}$ の値はゼロとなつて実数値バイアス項は消去される。従つて、前記二重

位相差 $DD(i,j;A,B;t)$ は次式で表せる。

【0070】

$$\begin{aligned} DD(i,j;A,B;t) &= (\rho_{jB} - \rho_{jA} - \rho_{iB} + \rho_{iA}) \cdot f/c \\ &\quad + (N_{jB} - N_{jA} - N_{iB} + N_{iA}) \quad \dots(48) \end{aligned}$$

また、 $N_{jB} - N_{jA} - N_{iB} + N_{iA}$ は整数値バイアス項と

呼ばれる量であるが、一括して

$$N_{jB} - N_{jA} - N_{iB} + N_{iA} = N_{ijAB} \quad \dots(49)$$

とおけば(48)式は次のように簡略して表現できる。

【0071】

$$\begin{aligned} DD(i,j;A,B;t) &= (\rho_{jB} - \rho_{jA} - \rho_{iB} + \rho_{iA}) \cdot f/c + N_{ijAB} \\ &\quad \dots(50) \end{aligned}$$

周波数標準 f と光速 c は定数なので、上式で表される二重位相差 $DD(i,j;A,B;t)$ は、各衛星と各測定点との距離に関する量と整数値バイアス項のみを定数とする関数であることとなる。

【0072】なお、2つの測定点A、Bにおいて、4つ

のGPS衛星i、j、k、mの各々が送信する電波の搬送波位相の積算値を同時に測定できれば、4つの衛星のうちから2つを選ぶ組合せ4C2により、6種類の二重位相差を算出することができる。しかしながらこの6種類の二重位相差のうちから3つの二重位相差を選ぶと、残

りの3つの二重位相差は先に選んだ二重位相差から算出できるという従属関係にあり、残りの二重位相差は従属量であると言える。従って、2つの測定点で4つの衛星を観測する場合には、同一時刻において算出することができる独立の二重位相差は3種類にとどまることとなる。

【0073】該二重位相差算出ステップS7では、三重位相差 (triple phase difference) も同時に求めておく。ここで、三重位相差とは、2つの時刻における二重

$$DD(i,j;A,B;En) = (\rho(j,B;En) - \rho(j,A;En) - \rho(i,B;En) + \rho(i,A;En)) \cdot f/c + NijAB \quad \dots (51)$$

$$DD(i,j;A,B;Em) = (\rho(j,B;Em) - \rho(j,A;Em) - \rho(i,B;Em) + \rho(i,A;Em)) \cdot f/c + NijAB \quad \dots (52)$$

で表せる。そして、(51)式と(52)式の差 $DD(i,j;A,B;En) - DD(i,j;A,B;Em)$ が三重位相差であり、この三重位相差からは整数値バイアス項 $NijAB$ が消去されているので、単独測位等により求めた未知点Bの三次元座標の座標値を初期値として連立方程式を立てれば、この未知点Bの三次元座標の概算値を求めることができる。このように、各二重位相差から三重位相差を求め、未知点Bの三次元座標の前記概算値を記憶した後、処理をステップS8に移行させる。

【0075】S8は座標算出ステップであり、前記ステ

$$DD(i,j;A,B;1) = \{-\rho(i,A;1) + \rho(i,B;1) - \rho(j,A;1) + \rho(j,B;1)\} \cdot f/c + Nij \quad \dots (61)$$

衛星iと衛星k、衛星iと衛星mとの間に関しても、上式と同様に、各二重位相差と各整数値バイアスの間に

$$DD(i,k;A,B;1) = \{-\rho(i,A;1) + \rho(i,B;1) - \rho(k,A;1) + \rho(k,B;1)\} \cdot f/c + Nik \quad \dots (62)$$

$$DD(i,m;A,B;1) = \{-\rho(i,A;1) + \rho(i,B;1) - \rho(m,A;1) + \rho(m,B;1)\} \cdot f/c + Nim \quad \dots (63)$$

の関係がある。

【0078】更に、エポックL2においても、上記整数値バイアス Nij 、 Nik 、 Nim は同じ値であるから、該エ

$$DD(i,j;A,B;2) = \{-\rho(i,A;2) + \rho(i,B;2) - \rho(j,A;2) + \rho(j,B;2)\} \cdot f/c + Nij \quad \dots (64)$$

$$DD(i,k;A,B;2) = \{-\rho(i,A;2) + \rho(i,B;2) - \rho(k,A;2) + \rho(k,B;2)\} \cdot f/c + Nik \quad \dots (65)$$

$$DD(i,m;A,B;2) = \{-\rho(i,A;2) + \rho(i,B;2) - \rho(m,A;2) + \rho(m,B;2)\} \cdot f/c + Nim \quad \dots (66)$$

ここで、任意の時刻uにおけるGPS衛星の三次元座標の座標値 $X(u)$ は、軌道情報により得ることができるので、該軌道情報に基づいて、どのエポックにおけるGPS衛星の位置も特定することができる。

【0080】但し、その場合には電波の伝搬遅延時間を

$$\tau1 = \rho(i,A;u1) / c$$

の関係が成立する。ここで、時刻tにおける衛星iが実際に位置する点をベクトルを $Xi(t)$ で表すと、時刻 u

$$Xi(u1 - \tau1) = Xi(u1 - \rho(i,A;u1)/c) \quad \dots (71)$$

で与えられる。一方、既知点である測定点Aの三次元座

位相差の差をとった量をいい、以下のように求められる。

【0074】いま、エポック En (時刻 En) とエポック Em (時刻 Em) において、測定点A、BとGPS衛星i、jとが成す距離を、それぞれ $\rho(i,A;En)$ 、 $\rho(j,A;En)$ 、 $\rho(i,B;En)$ 、 $\rho(j,B;En)$ とすると、二重位相差 $DD(i,j;A,B;En)$ と $DD(i,j;A,B;Em)$ は、(50)式と同様に、

ップS7で求めた二重位相差、三重位相差から、以下の算出原理に従って未知点である測定点Bの三次元座標の座標値を算出する。

【0076】前記記録ステップS3で記録された搬送波位相の積算値のうちの任意の2つのエポックをエポックL1とエポックL2とし、エポックL1における衛星iと衛星jに関する二重位相差を $DD(i,j;A,B;1)$ とすると、該二重位相差 $DD(i,j;A,B;1)$ と整数値バイアス Nij との間には次の関係が成立する。

【0077】

は、

ポックL2における二重位相差については次式が成立する。

【0079】

考慮する必要がある。例えば、衛星iが送信した電波が $\tau1$ の時間をかけて時刻 $u1$ に測定点Aに到達したとすると、該電波は時刻 $u1 - \tau1$ において衛星iが送信した電波であり、 $\tau1$ と、衛星iと測定点Aとの距離 $\rho(i,A;u1)$ との間で、

$$\dots (70)$$

$u1 - \tau1$ において衛星iが位置する点を表すベクトル $Xi(u1 - \tau1)$ は、

$$\dots (71)$$

標を示すベクトルを XA とし、ベクトル M の大きさを $\|$

M|| で表すすると、前記距離 $\rho(i,A;u1)$ は、

$$\rho(i,A;u1) = \| \mathbf{x}_i(u1 - \rho(i,A;u1)/c) - \mathbf{x}_A \| \quad \cdots (72)$$

$\rho(i,A;u1)$ に適当な値を初期値として代入し、繰り返し計算を行えば、上式によって、より正確な $\rho(i,A;u1)$ の値を算出することができる。

【0081】以上により、各GPS衛星と既知点Aの距離を算出することができる。従って、(61)式～(66)式の6式中で、 $\rho(i,A;1)$ 、 $\rho(j,A;1)$ 、 $\rho(k,A;1)$ 、 $\rho(m,A;1)$ 、 $\rho(i,A;2)$ 、 $\rho(j,A;2)$ 、 $\rho(k,A;2)$ 、 $\rho(m,A;2)$ の値が分かるので、該6式の中の未知量は未知点である測定点Bに関して各衛星との距離を表す、 $\rho(i,B;1)$ 、 $\rho(j,B;1)$ 、 $\rho(k,B;1)$ 、 $\rho(m,B;1)$ 、 $\rho(i,B;2)$ 、 $\rho(j,B;2)$ 、 $\rho(k,B;2)$ 、 $\rho(m,B;2)$ の値となる。そして、これらの距離は測定点Bの三次元座標の座標値のX軸、Y軸、Z軸の各値の3つと、整数値バイアス N_{ij} 、 N_{ik} 、 N_{im} の3つの合計6つの未知数に帰着される。従って、未知数の数と連立方程式の数が一致するので、前記(61)式～(66)式の6式を連立させて計算すれば6個全部の未知量の値を求めることができる。

【0082】但し、上記(61)～(66)式を連立させてもは線形とはならないので、解析的手法で解くことはできない。そこで、前記三重位相差により求めた未知点Bの三次元座標の概算値を初期値とし、前記(61)式～(66)式から成る連立方程式に代入し、繰り返し計算を行って、未知点Bの三次元座標の座標値が有する誤差を次第に小さくしていき、正確な未知点Bの三次元座標の座標値を求めることとしている。

【0083】なお、このようにして未知点Bの三次元座標の座標値を求めたときには、整数値バイアス N_{ij} 、 N_{ik} 、 N_{im} の値も同時に求めることができる。しかしながらその値は整数値とならず、実数値となるのが普通である。これは主に測定誤差の影響によるものであるが、一旦この実数値を最寄りの整数値に丸め込み、その値を整数値バイアスとして最小二乗法を用いて再度計算し直せば、より正確な未知点Bの三次元座標の座標値を得ることができる。

【0084】以上により未知点Bの三次元座標の座標値を算出し、表示ステップS9でその結果を表示装置7に

表示して処理を終了する。

【0085】なお、キネマティック測量においては既知点Aに於いてアンテナスワップを行う等により整数値バイアスの値を確定させ、搬送波位相の積算値の測定を継続して行いながら複数の未知点上に移動して測定を行えば上記処理手順と同様に各未知点の三次元座標の座標値を求めることができる。

【0086】

【発明の効果】本発明によれば、搬送波位相の積算値の測定中に受信中断が発生し、搬送波位相の積算値に含まれるサイクルスリップを補正できるので、受信中断の影響を除去した搬送波位相の積算値を記録することができる。

【0087】特にキネマティック測量においては、移動中に受信中断があった場合でもサイクルスリップの補正をすることができるので、受信中断前に測定を終了した測定点まで戻って再測定を行う必要がなくなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に用いられるGPS測量システムの一例

【図2】 本発明の一実施例を示すフローチャート

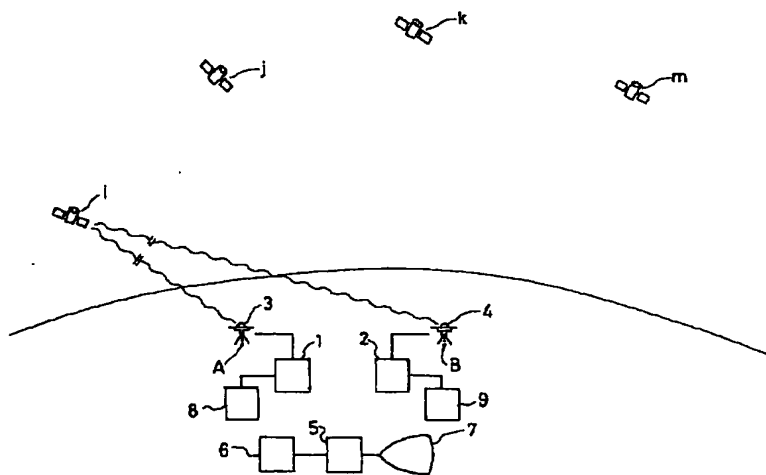
【図3】 受信中断があった場合の搬送波位相の積算値の変化を示す図

【図4】 搬送波位相の積算値の補正処理の一例を示すフローチャート

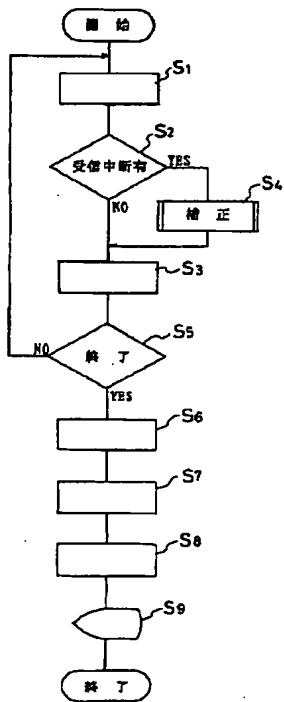
【符号の説明】

1、2……受信装置 3、4……アンテナ 5……ホストコンピュータ
6、8、9……ラムカード駆動装置 7……表示装置
i、j、k、m……GPS衛星
S1……測定ステップ S2……受信中断検出ステップ
S3……記録ステップ
S4……補正ステップ S6……一重位相差算出ステップ
S7……二重位相差算出ステップ S8……座標算出ステップ

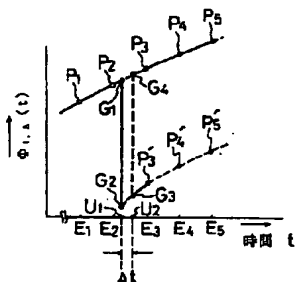
【图1】



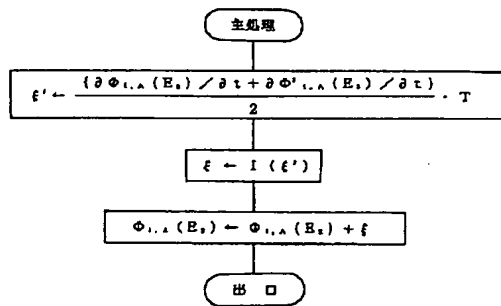
【图2】



【图3】



【图4】



【手続補正書】

【提出日】平成6年2月3日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】

$$\phi_i(t_1 - \tau) = \phi_i(t_1) - \partial \phi_i(t_1) / \partial t \cdot \tau + \dots \quad \dots (4)$$

衛星 i が送信する電波の搬送波位相を送信位相量 $\phi_i(t_1)$ とすると、搬送波の周波数 f は前記送信位相量 $\phi_i(t_1)$ の微小時間あたりの変化で表せ、

$$f = \partial \phi_i(t_1) / \partial t \quad \dots (5)$$

となるから、(4)、(5)式を用いて(3)式を次のように書き換えることができる。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正内容】

【0052】この補正ステップS4の行う処理手順を図

$$\xi' = (\partial \phi_{i,A}(E2) / \partial t + \partial \phi'_{i,A}(E3) / \partial t) / 2 \cdot T \quad \dots (21)$$

であり、該変移量 ξ' を算出して、処理を補正量算出ス

3に示す。図3を参照して、 $T1$ は変移量算出ステップであり、前記受信中断が発生する前のエポック $E2$ における搬送波位相の積算値 $\phi_{i,A}(E2)$ の変化率 $\partial \phi_{i,A}(E2) / \partial t$ と、受信中断解消後のエポック $E3$ における搬送波位相の積算値 $\phi'_{i,A}(E3)$ の変化率 $\partial \phi'_{i,A}(E3) / \partial t$ との平均値を求め、該平均値にエポック間隔 T を掛け合わせて変移量 ξ' を算出する。即ち、

ステップT2に移行させる。